

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/002196

International filing date: 02 March 2005 (02.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: EP
Number: 04004852.2
Filing date: 02 March 2004 (02.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 25 April 2005 (25.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

02. 03. 2005

**Europäisches
Patentamt****European
Patent Office****Office européen
des brevets****Bescheinigung****Certificate****Attestation**

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

04004852.2

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 04004852.2
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 02.03.04
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Ernst Mühlbauer GmbH & Co.KG
Koogstraat 4
25870 Norderfriedrichskoog
ALLEMAGNE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Gefülltes, polymerisierbares Dentalmaterial und Verfahren zu dessen Herstellung

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s)
revendiquée(s)

Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

A61K6/00

Am Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL
PL PT RO SE SI SK TR LI

EPO - Munich
51
02 März 2004

Ernst Mühlbauer GmbH & Co. KG
DMGE042PEP
Ke/js/ns
01.03.2004

5

10 **Gefülltes, polymerisierbares Dentalmaterial und Verfahren
zu dessen Herstellung**

Die Erfindung betrifft ein gefülltes und polymerisierbares
15 Dentalmaterial sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

Für die prothetische, konservierende und präventive Zahn-
heilkunde werden verschiedene Dentalmaterialien verwendet.
Dazu gehören auch sogenannte Komposite, die ein oder mehrere
20 Füllmaterialien in einer Harzmatrix aufweisen. Die Füll-
stoffe verleihen den Dentalmaterialien die gewünschten me-
chanischen Eigenschaften, dazu gehören die Rheologie in der
Verarbeitungsphase und mechanische Eigenschaften wie Härte
oder Abriebfestigkeit im ausgehärteten Zustand. Es ist be-
25 reits vorgeschlagen worden (WO-A-020 92 022), die mechani-
schen Eigenschaften von Dentalmaterialien durch Zusatz von
nanoskaligen Füllstoffen zu verbessern. Die in der genann-
ten Schrift offenbarten Nanofüllstoffe werden durch ein
sehr aufwendiges Plasmafackelverfahren (PVS) hergestellt.

30

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ge-
füllte und polymerisierbare Dentalmaterialien sowie ein
Verfahren zu deren Herstellung zu schaffen, wobei die Den-
talmaterialien kostengünstig hergestellt werden können und
35 gute mechanische Eigenschaften wie beispielsweise Druckfes-
tigkeit und Abriebfestigkeit aufweisen.

Die Erfindung löst diese Aufgabe durch ein gefülltes und
polymerisierbares Dentalmaterial, das enthält:

40

- a) ein organisches Bindemittel,
- b) einen nanoskaligen Füllstoff, der folgende Merkmale aufweist:
- 5
- mindestens 50 Gew.-%, bevorzugt mindestens 60 Gew.-% und besonders bevorzugt mindestens 80 Gew.-% der Nanopartikel weisen einen Teilchendurchmesser von kleiner 100 nm auf,
 - 10 - mindestens 20 Partikelzahl-%, bevorzugt mindestens 30 Partikelzahl-%, bevorzugt mindestens 40 Partikelzahl-% und besonders bevorzugt mindestens 50 Partikelzahl-% der Nanopartikel sind aggregierte Teilchen,
- 15
- c) wenigstens einen anorganischen und/oder organischen Füllstoff ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus einem gemahlenden Füllstoff mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,2 µm und 50 µm und
- 20
- einem sphärischen Füllstoff mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,1 µm und 50 µm.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines solchen Dentalmaterials weist folgende Schritte auf:

- 25
- a) zur Verfügung stellen von:
- a1) einem organischem Bindemittel,
 - 30 a2) einem wenigstens teilweise agglomerierten und/oder aggregierten nanoskaligen Füllstoff,
 - a3) einem Mittel zur organischen Oberflächenmodifikation des organischen Füllstoffs a2),
 - 35 a4) wenigstens einem anorganischen und/oder organischen Füllstoff ausgewählt aus der Grup-

pe bestehend aus einem gemahlenden Füllstoff mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,2 µm und 50 µm und einem sphärischen Füllstoff mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,1 µm und 50 µm;

- b) Durchführung einer organischen Oberflächenmodifikation des Füllstoffs a2) mit dem Mittel a3);
- c) Einarbeiten des oberflächenmodifizierten nanoskaligen Füllstoffs in das organische Bindemittel bis wenigstens 50 %, vorzugsweise wenigstens 60 %, weiter vorzugsweise wenigstens 80 % des nanoskaligen Füllstoffs einen Teilchendurchmesser von weniger als 100 nm aufweisen;
- d) Einarbeiten des Füllstoffs a4) in das organische Bindemittel;

wobei die Schritte c) und d) in beliebiger Reihenfolge oder gleichzeitig durchgeführt werden können und wobei Schritt b) vor oder gleichzeitig mit den Schritten c) und/oder d) durchgeführt wird.

- Kern der Erfindung ist Kombination eines in Merkmal b) des Anspruchs 1 näher definierten kostengünstig gewinnbaren nanoskaligen Füllstoffs mit einem weiteren, in Merkmal c) des Anspruchs 1 näher definierten (Mikro)Füllstoff. Nanopartikel können durch den Sol-Gel-Prozess hergestellt werden.
- Bei diesem Verfahren werden Alkoxysilane hydrolysiert und die gebildeten Silanole kondensieren verhältnismäßig langsam zu Nanopartikeln. Es entstehen im Wesentlichen lediglich sogenannte Primärpartikel mit sehr einheitlicher Größenverteilung. Das Verfahren ist sehr teuer, da die Partikel vollständig aus Silanen hergestellt werden müssen.

Die flammolytische Herstellung von Kieselsäure ist ebenfalls bekannt. Es können dabei ebenfalls Primärpartikel im

Nanobereich entstehen. Unter den Reaktionsbedingungen der
Flammenpyrolyse entstehen aus den Primärpartikeln jedoch zu
einem großen Teil sogenannte Agglomerate oder Aggregate.
Der Begriff Aggregate bezeichnet Teilchen, bei denen zwei
5 oder mehr Primärteilchen über starke Bindungen wie bspw.
Sinterbrücken miteinander assoziiert sind. Agglomerate sind
Teilchen, bei denen zwei oder mehr Primärteilchen und/oder
Aggregate über verhältnismäßig schwache Bindungen wie z. B.
Wasserstoffbrücken oder Dipol-Dipol-Wechselwirkungen mit-
10 einander assoziiert sind. In der Regel sind in Aggregaten
die Primärteilchen flächig miteinander verbunden, in Agglo-
meraten bestehen in der Regel eher punktförmige Verbindun-
gen, d. h. die Berührungsflächen sind vergleichsweise
klein.

15 Die aus den Primärteilchen gebildeten Aggregate und/oder
Agglomerate sind deutlich größer als die Primärteilchen, so
dass das Fließverhalten einer organischen Matrix mit sol-
chen Füllstoffen erheblich beeinflusst bzw. verschlechtert
20 wird.

Die Erfindung hat nun erkannt, dass man ausgehend von Füll-
stoffen, bei denen nanoskalige Primärpartikel agglomeriert
und/oder aggregiert sind, dennoch zu einem Dentalmaterial
25 mit guten mechanischen Eigenschaften kommen kann. Vorzugs-
weise werden diese aggregierten bzw. agglomerierten Füll-
stoffe zunächst organisch oberflächenmodifiziert und an-
schließend in das organische Bindemittel einarbeitet, wobei
durch das Einarbeiten Agglomerate und Aggregate soweit zer-
30 stört werden, dass mindestens 50 Gew.-% der Nanopartikel
einen Teilchendurchmesser von kleiner als 100 nm (bestimmt
nach dem unten näher erläuterten Verfahren) aufweisen. Die
Erfindung erlaubt somit die Verwendung kostengünstiger Aus-
gangsmaterialien für den nanoskaligen Füllstoff und er-
35 reicht dennoch, dass die erfindungsgemäßen Dentalmateria-
lien, die durch nanoskalige Füllstoffe verliehenen vorteil-
haften Eigenschaften (insbesondere mechanischen Eigenschaf-
ten) aufweisen.

Erfindungsgemäß ist der nanoskalige Füllstoff gemäß Merkmal b) noch teilaggregiert, d. h. eine im Anspruch näher definierte Mindestmenge der Nanopartikel sind aggregierte Teilchen, bei denen zwei oder mehr Primärteilchen und/oder Agglomerate durch starke Kräfte verbunden sind. Bei sehr kleinen Primärteilchen können auch die Aggregate noch einen Teilchendurchmesser von kleiner als 100 nm aufweisen, häufig werden jedoch solche Aggregate die angegebene Grenze des Teilchendurchmessers von 100 nm überschreiten.

Die Erfindung hat somit erkannt, dass eine Teilaggregation der Primärpartikel des Nanofüllstoffes die vorteilhaften Eigenschaften eines nanoskaligen Füllstoffes nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt und dass auf die aufwendige Herstellung von lediglich aus Primärteilchen bestehenden Nanofüllstoffen (bspw. durch das Sol-Gel-Verfahren) verzichtet werden kann.

Füllstoffe wie beispielsweise flammenpyrolytisch gewonnenes Siliziumdioxid besitzen nanoskalige Primärpartikel, die sowohl durch starke Aggregatkräfte (insbesondere Sinterbindungen) als auch schwache Agglomeratkräfte in größeren Aggregaten und/oder Agglomeraten zusammengehalten werden. Dem erfindungsgemäßen Verfahren liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass sich durch mechanisches Einarbeiten solcher Füllstoffe in ein organisches Bindemittel die Agglomeratbindungen weitgehend und die Aggregatbindungen teilweise lösen, so dass nach dem Einarbeiten der Füllstoff die in Merkmal b) des Anspruchs definierten Parameter aufweist. Die organische Oberflächenmodifikation gemäß Merkmal b) des Anspruchs bewirkt, dass eine erneute Agglomeration von Primärpartikeln bzw. Aggregaten/Agglomeraten nach dem Einarbeiten in das organische Bindemittel unterbleibt. Bei dieser organischen Oberflächenmodifikation kann es sich insbesondere um eine unten näher erläuterte Silanisierung handeln. Vorzugsweise führt die organische Oberflächenmodifizierung Gruppen auf die Oberfläche der nanoskaligen Füllstoffe ein, die mit

dem organischen Bindemittel chemisch reagieren können oder eine hohe Affinität zu diesem organischen Bindemittel haben.

- 5 Das erfindungsgemäße Dentalmaterial enthält wenigstens einen weiteren Füllstoff gemäß Merkmal c) des Anspruchs 1. Es kann sich dabei um einen gemahlene Füllstoff oder um einen sphärischen Füllstoff (beispielsweise einen sphärischen Füllstoff wie in DE-PS-32 47 800 beschrieben) mit jeweils
10 näher definierten Korngrößen handeln. Sowohl sphärische als auch gemahlene Füllstoffe besitzen charakteristische Partikelformen, die sich von den teilaggregierten Nanopartikeln gemäß Merkmal b) deutlich unterscheiden. Nanoskalige Primärteilchen können eine ähnliche Partikelform wie sphärische Füllstoffe gemäß Merkmal c) aufweisen, unterscheiden
15 sich jedoch deutlich in der Partikelgröße.

Die Erfindung stellt ein Dentalmaterial zur Verfügung, das trotz kostengünstiger Herstellung gute mechanische Eigenschaften aufweist.
20

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben. Die Ansprüche 2 bis 4 nennen bevorzugte Gewichtsanteile des organischen Bindemittels, nanoskaligen Füllstoffs bzw. des zusätzlichen Füllstoffs gemäß Merkmal c) des Anspruchs 1.
25

Die mittlere Primärteilchengröße des erfindungsgemäßen nanoskaligen Füllstoffs liegt zwischen 1 nm und 80 nm, bevorzugt zwischen 4 nm und 60 nm und besonders bevorzugt zwischen 6 nm und 50 nm. Der erfindungsgemäße nanoskalige Füllstoff weist eine BET-Oberfläche (gemäß DIN 66131 bzw. DIN ISO 9277) zwischen 15 m²/g und 600 m²/g, bevorzugt zwischen 30 m²/g und 500 m²/g und besonders bevorzugt zwischen
30 50 m²/g und 400 m²/g auf.
35

Bei den erfindungsgemäß eingesetzten nanoskaligen Füllstoffen handelt es sich bevorzugt um Metall-, Halbmetall- oder

Mischmetalloxide, -Silikate, -Nitride, -Sulfate, -Titanate, -Zirkonate, -Stannate, -Wolframate oder um eine Mischung aus diesen Verbindungen. Zur Gruppe der Halbmetalle, deren Eigenschaften (vor allem Aussehen und elektrische Leitfähigkeit) zwischen denen der Metalle und der Nichtmetalle liegen, gehören Bor, Silizium, Germanium, Arsen, Antimon, Bismut, Selen, Tellur und Polonium (vgl. Römpp Chemie Lexikon, Georg Thieme Verlag, 1990, S. 1711). Die Gruppe der Metalle ist im Periodensystem links von der Gruppe der Halbmetalle zu finden, d.h. dazu gehören die Hauptgruppenmetalle, Nebengruppenmetalle, Lanthanide und Actinide. Und unter dem Begriff Mischmetalloxid, -nitrid, usw. ist hier eine chemische Verbindung zu verstehen, in der mindestens zwei Metalle und/oder Halbmetalle zusammen mit dem entsprechenden Nichtmetallanion (Oxid, Nitrid, usw.) chemisch miteinander verbunden sind.

Bei den erfindungsgemäß eingesetzten nanoskaligen Füllstoffen handelt es sich besonders bevorzugt um Siliziumdioxid, Aluminiumoxid, Zirkondioxid, Titandioxid, Zinkoxid, Zinndioxid, Ceroxid, Aluminium-Silizium-Oxide, Silizium-Zink-Oxide, Silizium-Zirkon-Oxide, Eisenoxide und deren Mischungen mit Siliziumdioxid, Indiumoxide und deren Mischungen mit Siliziumdioxid und/oder Zinndioxid, Bornitrid, Strontiumsulfat, Bariumsulfat, Strontiumtitanat, Bariumtitanat, Natriumzirkonat, Kaliumzirkonat, Magnesiumzirkonat, Calciumzirkonat, Strontiumzirkonat, Bariumzirkonat, Natriumwolframat, Kaliumwolframat, Magnesiumwolframat, Calciumwolframat, Strontiumwolframat und/oder Bariumwolframat.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden diese nanoskaligen Füllstoffe dadurch erhalten, dass kommerziell erhältliche, aggregiert-agglomerierte Nanofüllstoffe (wie z. B. pyrogene Kieselsäuren) in einem organischen Lösungsmittel dispergiert und an der Oberfläche organisch modifiziert werden. Bei dieser organischen Modifikation werden funktionelle Gruppen auf die Oberfläche der Nanopartikel aufgebracht, die zum einen entweder kovalent oder adsorbativ an

die Nanopartikel gebunden sind und die zum anderen mit dem organischen Bindemittel chemisch reagieren können oder eine hohe Affinität zu dem organischen Bindemittel haben. In den weiteren Schritten wird direkt die Dispersion der modifizierten Nanofüllstoffe in dem Lösungsmittel verwendet oder bevorzugt das Lösungsmittel abgezogen und dann das trockene Nanopulver in das organische Bindemittel eingearbeitet. Die organische Oberflächenmodifizierung kann auch direkt im organischen Bindemittel erfolgen.

Durch diese Verfahrensweise werden überraschenderweise die Agglomerate und teilweise Aggregate dauerhaft soweit zerkleinert, dass mindestens 50 %, bevorzugt mindestens 60 % und besonders bevorzugt mindestens 80 % der Nanopartikel einen Teilchendurchmesser von kleiner 100 nm aufweisen. Es wird jedoch keine vollständige Deaggregation erreicht, d. h. mindestens 20 %, bevorzugt mindestens 30 %, bevorzugt mindestens 40 % und besonders bevorzugt mindestens 50 % der Nanopartikel sind aggregierte Teilchen.

Die organische Modifikation der Oberfläche der aggregiert-agglomerierten Nanofüllstoffe erfolgt bevorzugt durch Behandeln mit einem Siloxan, Chlorsilan, Silazan, Titanat, Zirkonat, Wolframat oder mit einer organischen Säure (wie sie z. B. in US 6,387,981 beschrieben sind), einem organischen Säurechlorid oder -anhydrid. Die Siloxane, Chlorsilane, Silazane, Titanate, Zirkonate und Wolframate haben besonders bevorzugt die allgemeinen Formeln $\text{Si}(\text{OR}')_n\text{R}_{4-n}$, $\text{SiCl}_n\text{R}_{4-n}$, $(\text{R}_m\text{R}''_{3-m}\text{Si})_2\text{NH}$, $\text{Ti}(\text{OR}')_n\text{R}_{4-n}$, $\text{Zr}(\text{OR}')_n\text{R}_{4-n}$ und $\text{W}(\text{OR}')_n\text{R}_{6-n}$, wobei m und n 1, 2 oder 3 ist; bevorzugt ist $n = 3$. Bei der über den Sauerstoff gebundenen Gruppe R' handelt es sich ebenso wie bei R'' um eine beliebige organische funktionelle Gruppe, bevorzugt um eine Alkylgruppe und besonders bevorzugt um eine Methyl-, Ethyl-, Propyl- oder Isopropylgruppe. Die funktionelle Gruppe R ist eine beliebige organische Gruppe und direkt über ein Kohlenstoffatom an das Silizium, Titan, Zirkon oder Wolfram gebunden. Wenn m oder n 1 oder 2 ist, können die Gruppen R gleich oder verschie-

den sein. R wird bevorzugt so ausgewählt, dass es eine oder mehrere funktionelle Gruppen besitzt, die mit dem organischen Bindemittel chemisch reagieren können oder eine hohe Affinität zu dem organischen Bindemittel haben. Diese funktionellen Gruppen sind auch bei den ebenfalls zur organischen Oberflächenmodifikation einsetzbaren, oben aufgeführten organischen Säuren, Säurechloriden und -anhydriden enthalten. Es handelt sich bevorzugt um Acrylat-, Methacrylat-, Cyanacrylat-, Acrylamid-, Methacrylamid-, Vinyl-, Allyl-, Epoxid-, Oxetan-, Vinylether-, Amino-, Säure-, Säureester-, Säurechlorid-, Phosphat-, Phosphonat-, Phosphit-, Thiol-, Alkohol- und/oder Isocyanatgruppen. Die bei der organischen Oberflächenmodifikation der Nanofüllstoffe gebildeten Nebenprodukte wie z. B. Alkohole, Salzsäure oder Ammoniak werden in den Folgeschritten bis auf mögliche Reste (Verunreinigungen) entfernt, d. h. sie sind in dem später hergestellten Dentalmaterial nicht mehr oder nur in geringen Mengen von $\leq 0,1$ Gew.-%, vorzugsweise $\leq 0,05$ Gew.-% enthalten.

Eine weitere vorteilhafte Option der Erfindung ist die organische Modifikation der Oberfläche der Nanofüllstoffe mit Farbstoffen. In diesem Fall beinhaltet die Gruppe R der zur Oberflächenmodifikation verwendeten Verbindung einen Farbstoff oder eine funktionelle Gruppe, die mit einem Farbstoff reagieren kann. Die Anbindung des Farbstoffs an die Oberfläche der Nanofüllstoffe kann sowohl über eine kovalente Bindung als auch über eine ionische Bindung erfolgen.

Bei dem Lösungsmittel, in dem die organische Oberflächenmodifikation der Nanofüllstoffe durchgeführt wird, handelt es sich bevorzugt um ein polar aprotisches Lösungsmittel und besonders bevorzugt um Aceton, Butanon, Essigsäureethylester, Methylisobutylketon, Tetrahydrofuran oder Diisopropylether. Weiterhin ist die direkte organische Oberflächenmodifikation der Nanofüllstoffe in dem zur Herstellung der Dentalmaterialien zu verwendendem organischen Bindemittel eine besonders bevorzugte Verfahrensweise. In die-

sem Fall ist das organische Bindemittel das zu verwendende Lösungsmittel. Zur Beschleunigung der organischen Oberflächenmodifikation der Nanofüllstoffe kann eine Säure als Katalysator zugegeben werden. In jedem Fall müssen katalytische Mengen Wasser, bevorzugt zwischen 0,01 % und 5 %, anwesend sein, um die Modifikation durchzuführen. Dieses Wasser ist an den Oberflächen der als Ausgangssubstanz verwendeten aggregiert-agglomerierten Nanofüllstoffe oftmals bereits als Adsorbat vorhanden. Zur Unterstützung der Reaktion kann weiteres Wasser, z. B. auch in Form einer verdünnten Säure zugegeben werden.

Um den Zerfall der Agglomerate und Aggregate bei der organischen Oberflächenmodifikation in dem organischen Lösungsmittel zu beschleunigen, kann vor oder während der Modifizierung ein zusätzlicher Energieeintrag mit den üblichen Methoden erfolgen. Dies kann z. B. durch einen Hochgeschwindigkeitsrührer, einen Dissolver, eine Perlmühle oder einen Mischer erfolgen. Bei der Verwendung höherviskoser Lösungsmittel ist dies die bevorzugte Vorgehensweise, also besonders dann, wenn das organische Bindemittel direkt als Lösungsmittel verwendet wird. Wenn das organische Bindemittel nicht als Lösungsmittel verwendet wird, kann das zu verwendende organische Bindemittel direkt mit der Dispersion des organisch modifizierten Nanofüllstoffs in dem organischen Lösungsmittel gefüllt werden. In diesem Fall wird das Lösungsmittel nach der Herstellung der Mischung aus organischem Bindemittel und organisch modifiziertem Nanofüllstoff abgezogen oder erst bei der späteren Anwendung des nanogefüllten Dentalmaterials. Letzteres ist besonders bei lösemittelhaltigen Lacken auf der Basis der erfindungsgemäßen Dentalmaterialien eine praktikable Vorgehensweise. Bevorzugt wird der organisch modifizierte Nanofüllstoff von dem Lösungsmittel befreit und als trockenes Pulver weiter verarbeitet. In diesem Fall wird dann das trockene organisch modifizierte Nanopulver zu dem organischen Bindemittel gegeben und unter mechanischem Energieeintrag eingearbeitet. Die Einarbeitung kann z. B. durch einen Hoch-

geschwindigkeitsrührer, einen Dissolver, eine Perlmühle, einen Walzenstuhl, einen Knetter oder einen Mischer erfolgen.

- 5 Bei der Verwendung höherviskoser Lösungsmittel und insbesondere bei der direkten Verwendung des organischen Bindemittels als Lösungsmittel kann es passieren, dass eventuelle Überschüsse und/oder nicht umgesetzte Teile der zur organischen Oberflächenmodifikation der Nanofüllstoffe verwendeten Verbindung nicht aus der Dispersion entfernt werden können. In diesem Fall ist es die bevorzugte Vorgehensweise, dass diese eventuellen Überschüsse und/oder nicht umgesetzten Teile der zur organischen Oberflächenmodifikation der Nanofüllstoffe verwendeten Verbindung durch Reaktion mit einem geeigneten Agens in Stoffe umgesetzt werden, die dann entweder aus der Dispersion entfernt werden oder aber in der Dispersion verbleiben können, wenn sie für den Menschen unbedenklich, d.h. nicht schädigend sind. Eine besonders bevorzugte Vorgehensweise ist die Verwendung von Wasser als Agens, das mit eventuellen Überschüssen und/oder nicht umgesetzten Teilen der zur organischen Oberflächenmodifikation der Nanofüllstoffe verwendeten Verbindung umgesetzt wird.
- 10
- 15
- 20
- 25 Als organisches Bindemittel wird eine Verbindung oder eine Mischung mehrerer Verbindungen eingesetzt, die radikalisch und/oder kationisch und/oder anionisch polymerisierbare Gruppen und/oder Gruppen, die eine Aushärtung über eine Kondensations- und/oder Additionsreaktion und/oder über eine Säure-Base-Reaktion erlauben, enthält. Die Verbindungen bestehen aus einem Phospazen-basierten, Silizium-basierten oder organischen (Kohlenstoff-basierten) Grundgerüst und mindestens einer funktionellen Gruppe, die an dieses Grundgerüst gebunden ist und die eine über eine radikalische und/oder kationische und/oder anionische Polymerisationsreaktion und/oder über eine Kondensations- und/oder Additionsreaktion und/oder über eine Säure-Base-Reaktion ablaufende Aushärtung erlaubt. Bei diesen funktionellen Gruppen
- 30
- 35

handelt es sich bevorzugt um Acrylat-, Methacrylat-, Cyanacrylat-, Acrylamid-, Methacrylamid-, Vinyl-, Allyl-, Epoxid-, Oxetan-, Vinylether-, Amino-, Säure-, Säureester-, Säurechlorid-, Phosphat-, Phosphonat-, Phosphit-, Thiol-,
 5 Alkohol- und/oder Isocyanatgruppen. Die Säure-, Säureester- und Säurechloridgruppen können z. B. von Carbonsäuren, Phosphorsäuren, Phosphonsäuren oder Sulfonsäuren abgeleitet sein.

10 Das Grundgerüst kann linear, verzweigt, zyklisch, dendritisch und/oder hyperverzweigt ("hyperbranched") aufgebaut sein. Beim Grundgerüst kann es sich um eine monomere, oligomere oder polymere Struktur handeln. Die chemische Struktur des Grundgerüsts ist aus aliphatischen, zyκλοaliphatischen,
 15 heterozyklischen, aromatischen und/oder heteroaromatischen Segmenten aufgebaut. Innerhalb der aliphatischen, zyκλοaliphatischen, heterozyklischen, aromatischen und/oder heteroaromatischen Segmente können eine oder mehrere funktionelle Gruppen enthalten sein, z. B.

20 -O-, -S-, -SO-, -SO₂-, -NR¹-, -PR¹-, -P(OR¹)-, -POR¹-,
 -PO(OR¹)-, -O-PO(OR¹)-O-, -CO-, -CO₂-, O-CO-O-, -COS-, -CS₂-,
 -C=N-, -N=C=N-, -CO(NR¹)-, O-CO-NR¹-, -NR¹-CO-NR²-, -SiR¹R²-
 und/oder -SiR¹R²-O-, wobei

R¹ = H oder jedbeliebiger organische Rest, bevorzugt ein unsubstituierter oder substituierter

Alkyl- bzw. Aryl-Rest

R² = H oder jedbeliebiger organische Rest, bevorzugt ein unsubstituierter oder substituierter

Alkyl- bzw. Aryl-Rest; gleich oder verschieden von R¹.

30 Sind aliphatische Segmente im Grundgerüst enthalten, so sind diese bevorzugt von substituierten (z. B. halogenierten) und unsubstituierten Alkyl- und Alkenyl-Verbindungen, Ethern, Estern, Carbonaten, Urethanen, Polyethern, Polyester,
 35 Polycarbonaten und Polyurethanen abgeleitet.

Sind zyκλοaliphatische Segmente im Grundgerüst enthalten, so sind diese bevorzugt von substituierten (z. B. haloge-

nierten) und unsubstituierten Cycloalkanen (wie z. B. Cyclohexan und seine Derivate), Spiranen (wie z. B. Spiro[3.3]heptan) und bi- und polyzyklischen Kohlenwasserstoffen (wie z.B. Decalin, Norbornan, Norcaran, Pinan, Adamantan, Twistan und Diamantan) abgeleitet.

Sind heterozyklische Segmente im Grundgerüst enthalten, so sind diese bevorzugt von substituierten (z. B. halogenierten) und unsubstituierten Cyclodextrinen, Morpholinen und Iminooxadiazindionen abgeleitet.

Sind aromatische Segmente im Grundgerüst enthalten, so sind diese bevorzugt von substituierten (z. B. halogenierten) und unsubstituierten Benzenen (wie z.B. Benzol, Toluol, Phenol, Anilin und Biphenyl) und kondensierten aromatischen Ringsystemen (wie z. B. Inden, Fluoren, Naphthalin, Acenaphthen, Anthracen, Phenanthren, Naphthacen, Pyren und Chrysen) abgeleitet.

Sind heteroaromatische Segmente im Grundgerüst enthalten, so sind diese bevorzugt von substituierten (z. B. halogenierten) und unsubstituierten Pyrrolen, Furanen, Thiophenen, Indolen, Benzofuranen, Benzothiophenen, Dibenzofuranen, Dibenzothiophenen, Pyrazolen, Imidazolen, Pyridinen, Pyranen, Thiopyranen und Chinolinen abgeleitet.

Als organisches Bindemittel kann auch eine flüssigkristalline Verbindung oder eine Mischung mehrerer Verbindungen, von denen mindestens eine flüssigkristallin ist, eingesetzt werden, die radikalisch und/oder kationisch und/oder anionisch polymerisierbare Gruppen und/oder Gruppen, die eine Aushärtung über eine Kondensations- und/oder Additionsreaktion und/oder über eine Säure-Base-Reaktion erlauben, enthält.

35

Eine weitere bevorzugte Option ist die Verwendung einer fluoridionenfreisetzenden Verbindung oder einer Mischung mehrerer Verbindungen, von denen mindestens eine Fluoridio-

nen freisetzen kann, als organisches Bindemittel, das zusätzlich radikalisch und/oder kationisch und/oder anionisch polymerisierbare Gruppen und/oder Gruppen, die eine Aushärtung über eine Kondensations- und/oder Additionsreaktion
 5 und/oder über eine Säure-Base-Reaktion erlauben, enthält.

Als organische Bindemittel werden besonders bevorzugt Acrylate, Methacrylate, Acrylamide, Methacrylamide, Vinylether, Epoxide, Oxetane, Spiroorthocarbonate, Spiroorthoester, bi-
 10 zyklische Orthoester, bityklische Monolactone, bityklische Bislactone, zyklische Carbonate, zyklische Acetale, Allylsulfide, Vinylzyklopropane, organische Phosphate, organische Phosponate, organische Phosphite oder eine Kombination aus diesen Verbindungen eingesetzt. Die Allgemeinheit nicht
 15 einschränkend sind nachfolgend einige Beispiele genannt:
 Methyl(meth)acrylat, Ethyl(meth)acrylat, n- oder i-Propyl(meth)acrylat, n-, i- oder tert.-
 Butyl(meth)acrylat, Hexyl(meth)acrylat, 2-Ethylhexyl(meth)acrylat, Cyclohexyl(meth)acrylat, Isobornyl(meth)acrylat, Hydroxyethyl(meth)acrylat, Hydroxypropyl(meth)acrylat, Phosphorsäureester von Hydroxyethyl(meth)acrylat bzw. Hydroxypropyl(meth)acrylat, (Meth)acrylsäure, Malonsäure-mono-(meth)acrylatester, Bersteinsäure-mono-(meth)acrylatester, Maleinsäure-mono-
 25 (meth)acrylatester, Glycerin(meth)acrylat, Glycerin(meth)acrylatester, Glycerindi(meth)acrylat, Glycerindi(meth)acrylatester (wie z. B. Glycerindi(meth)acrylatsuccinat),
 4-(Meth)acryloyloxyethyltrimellithsäure, Bis-4,6- bzw. Bis-
 30 2,5-(Meth)acryloyloxyethyltrimellithsäure, 2-(((Alkylamino)-carbonyl)oxy)ethyl-(meth)acrylate, Allyl(meth)acrylat, Butandiol-di(meth)acrylat, Hexandiol-di(meth)acrylat, Decandiol-di(meth)acrylat, Dodecandiol-di(meth)acrylat, Ethylenglykoldi(meth)acrylat, Diethylenglykoldi(meth)acrylat, Triethylenglykoldi(meth)acrylat, Tetraethylenglykoldi(meth)acrylat, Polyethylenglykoldi(meth)acrylate, Glycerindi(meth)acrylat, Glycerolpropoxytri(meth)acrylat, Trimethylolpropantri(meth)acrylat,

- ethoxylierte und/oder propoxylierte Trimethylolpropan-tri(meth)acrylate, Pentaerythrittetra(meth)acrylat, Dipentaerythritolhexa(meth)acrylat, Bisphenol-A-di(meth)acrylat, ethoxylierte und/oder propoxylierte Bisphenol-A-
- 5 di(meth)acrylate, 2,2-Bis-4-(3-(meth)acryloxy-2-hydroxypropoxy)-phenylpropan und davon abgeleitete Verbindungen, Chlor- und Bromphosphorsäureester des Bisphenol-A-glycidyl(meth)acrylats, Urethan(meth)acrylate (wie z. B. 7,7,9-Trimethyl-4,13-dioxo-3,14-dioxa-5,12-diazahexadecan-
- 10 1,16-dioxy-dimethacrylat), Polyesterurethan(meth)acrylate, Polyester(meth)acrylate, Polycarbonat(meth)acrylate, Polyamid(meth)acrylate, Polyimid(meth)acrylate, Phosphazenen(meth)acrylate und Siloxan(meth)acrylate; Ethylvinylether, n- oder i-Propylvinylether, n-, i- oder tert.-
- 15 Butylvinylether, Hexylvinylether, Octylvinylether, Cyclohexylvinylether, Cyclohexyl-3,4-epoxy-1-methylvinylether, Dimethanol-cyclohexyl-monovinylether, 1,4-Dimethanol-cyclohexyl-divinylether, Propandioldivinylether, Butandioldivinylether, Hexandioldivinylether, Octandioldivinylether,
- 20 Decandiolvinylether, Ethylenglykoldivinylether, Diethylenglykoldivinylether, Triethylenglykoldivinylether, Triethylenglykol-monovinylether-mono(meth)acrylsäureester, Polyethylenglykoldivinylether, Tripropylenglykoldivinylether, Glycerintrivinylether, Pentaerythrittetravinylether,
- 25 7,7,9-Trimethyl-4,13-dioxo-3,14-dioxa-5,12-diazahexadecan-1,16-dioxydivinylether, Bisphenol-A-divinylether, ethoxylierte und/oder propoxylierte Bisphenol-A-divinylether, Polyestervinylether, Polycarbonatvinylether, Polyacrylatvinylether, Polyamidvinylether, Polyimidvinylether, Polyurethanvinylether, Phosphazenvinylether und Siloxanvinylether; Alkylglycidylether, Glycidol, Glycidyl(meth)acrylat, Dipentendioxid, 1,2-Epoxyhexadecan, Bis-(3,4-
- 30 epoxycyclohexyl)-adipat, Vinylcyclohexenoxide, Vinylcyclohexendioxide, Epoxycyclohexancarboxylate (wie z. B. 3,4-Epoxycyclohexylmethyl-3,4-epoxycyclohexen-carboxylat), Butandioldiglycidylether, Hexandioldiglycidylether, Dodecandiol diglycidylether, Diglycidylether der Polyethylenglykole und der Polypropylenglykole, Diglycidylether von substi-

5 tuierten (z. B. halogenierten) und unsubstituierten Bisphe-
 nolen (wie z. B. Bisphenol-A, Bisphenol-C und Bisphenol-F),
 Resorcindiglycidylether, Trimetylolethantriglycidylether,
 Trimethylolpropantriglycidylether, Polybutadienpolyepoxide,
 10 Polyesterepoxide, Polycarbonat epoxide, Polyacrylatepoxide,
 Polyamid epoxide, Polyimidepoxide, Polyurethan epoxide, Pho-
 sphazen epoxide und Siloxan epoxide; 3,3-disubstituierte Oxe-
 tane und Dioxetane (wie z.B. 3-Ethyl-3-(2-hydroxyethyl)-
 10 tetraoxaspira-[5.5]-undecan; substituierte 1,3-Dioxolane
 (wie z. B. 2-Phenyl-4-methylen-1,3-dioxolan); difunktionel-
 le 6-Methylen-1,4-dithiepane sowie die Umsetzungsprodukte
 von nukleophilen (Meth)acrylaten wie z. B. 2-
 Hydroxyethyl(meth)acrylat oder Glycerin(meth)acrylatestern
 15 mit reaktiven Phosphorsäure-, Phosphonsäure- oder Phosphin-
 säurederivaten wie z. B. P_2O_5 , $POCl_3$ oder PCl_3 .

Die erhaltenen Mischungen aus organischem Bindemittel und
 organisch modifiziertem Nanofüllstoff zeichnen sich durch
 20 eine hohe Transparenz und eine geringe Viskosität aus. Bei
 der Verwendung als Dentalmaterial sind sie allerdings nicht
 für alle Anwendungen geeignet, da sie einen hohen Polymeri-
 sationsschrumpf und eine relativ geringe mechanische Fes-
 tigkeit aufweisen. Daher wird erfindungsgemäß wenigstens
 25 ein anorganischer und/oder organischer Füllstoff ausgewählt
 aus der Gruppe bestehend aus gemahlene Füllstoffen mit ei-
 ner mittleren Korngröße zwischen $0,2\ \mu m$ und $50\ \mu m$ und sphä-
 rischen Füllstoffen mit einer mittleren Korngröße zwischen
 $0,1\ \mu m$ und $50\ \mu m$ in die oben beschriebenen Mischungen homo-
 30 gen eingearbeitet. Dadurch wird ein Material erhalten, dass
 sich durch eine höhere Druckfestigkeit, einen geringeren
 Polymerisationsschrumpf und eine verbesserte Abriebfestig-
 keit auszeichnet.

35 Diese erfindungsgemäßen Dentalmaterialien können unter-
 schiedlichste Konsistenzen aufweisen; sie können z. B.
 fließfähig als auch standfest, d. h. modellierbar sein. Zu-
 dem können sie verschiedenste rheologische Eigenschaften

aufweisen; sie können z. B. thixotrop, dilatant oder struktur-viskos sein. Eine hohe Transluzenz, d. h. eine geringe Opazität bei den erfindungsgemäßen Dentalmaterialien ist ebenfalls möglich.

5

Der oben beschriebene anorganische und/oder organische Füllstoff wird unter mechanischem Energieeintrag in die Mischung aus organischem Bindemittel und organisch modifiziertem Nanofüllstoff eingearbeitet. Die Einarbeitung kann z. B. durch einen Hochgeschwindigkeitsrührer, einen Dissolver, eine Perlmühle, einen Walzenstuhl, einen Knetter oder einen Mischer erfolgen.

10

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die Oberflächenmodifikation des nanoskaligen Füllstoffs entweder vor oder zeitgleich mit dem Einarbeiten in das organische Bindemittel. Der weitere (sphärische und/oder gemahlene) Füllstoff kann vor, gleichzeitig mit oder nach dem nanoskaligen Füllstoff in das organische Bindemittel eingearbeitet werden.

15

20

Der anorganische und/oder organische Füllstoff kann ein nichtreaktiver Füllstoff, ein reaktiver Füllstoff oder eine Mischung aus diesen beiden Füllstoff-Typen sein. Unter einem reaktiven Füllstoff wird hier ein Füllstoff verstanden, der unter Zutritt von Wasser Ionen freisetzt und somit zu einer Aushärtung des Materials über eine Säure-Base-Reaktion führen kann. Diese reaktiven Füllstoffe werden z.B. zur Herstellung von Compomeren und Glasionomierzementen verwendet und sind z. B. in D.C. Smith, Biomaterials 19, S. 467-478 (1998) beschrieben.

25

30

Als anorganischer und/oder organischer Füllstoff werden bevorzugt Quarzpulver, Glaspulver, Glaskeramikpulver, Metalloxide, Metallhydroxide, gefüllte und/oder ungefüllte Splitterpolymerisate, gefüllte und/oder ungefüllte Perlpolymerisate, sphärische Füllstoffe wie z. B. in der DE-PS 3247800 beschrieben oder eine Mischung aus diesen Füllstoffen ein-

35

gesetzt. Bei den Splitter- und Perlpolymerisaten handelt es sich um Homo- oder Copolymere der schon beschriebenen (als organisches Bindemittel verwendbaren) polymerisierbaren Verbindungen, wobei diese Homo- oder Copolymere mit den beschriebenen Nanofüllstoffen und/oder anorganischen Füllstoffen wie z. B. Quarzpulver, Glaspulver, Glaskeramikpulver, pyrogenen oder nass gefällten Kieselsäuren gefüllt sein können. Splitterpolymerisate werden durch Mahlung der entsprechenden Polymerisationsprodukte erhalten.

10

Als anorganischer und/oder organischer Füllstoff werden besonders bevorzugt Bariumsilikatgläser, Strontiumsilikatgläser, Borataluminosilikatgläser, Phosphataluminosilikatgläser, Fluoroaluminosilikatgläser, Calciumsilikate, Zirkonsilikate, Natriumaluminumsilikate, Schichtsilikate, Bentonite, Zeolithe einschließlich der Molekularsiebe, die Oxide sowie die Hydroxide der Alkali- und der Erdalkalimetalle, Apatit, gefüllte Splitterpolymerisate, sphärische Füllstoffe wie z. B. in der DE-PS 3247800 beschrieben oder eine Mischung aus diesen Füllstoffen eingesetzt.

20

Eine bevorzugte Variante ist die Verwendung eines anorganischen und/oder organischen Füllstoffs, bei dem durch organische Modifikation funktionelle Gruppen auf die Oberfläche des Füllstoffs aufgebracht werden, die mit dem organischen Bindemittel chemisch reagieren können oder eine hohe Affinität zu dem organischen Bindemittel haben. Bei diesen funktionellen Gruppen handelt sich bevorzugt um Acrylat-, Methacrylat-, Cyanacrylat-, Acrylamid-, Methacrylamid-, Vinyl-, Allyl-, Epoxid-, Oxetan-, Vinylether-, Amino-, Säure-, Säureester-, Säurechlorid-, Phosphat-, Phosphonat-, Phosphit-, Thiol-, Alkohol- und/oder Isocyanatgruppen. Bevorzugt werden diese Gruppen über die schon bei der Oberflächenmodifikation der Nanofüllstoffe beschriebenen Verbindungen (Siloxane, Chlorsilane, Silazane, Titanate, Zirkonate, Wolframate, organische Säuren, organische Säurechloride oder -anhydride) eingeführt.

35

Eine besonders bevorzugte Variante ist die Verwendung eines anorganischen und/oder organischen Füllstoffs, der röntgenopak ist und in solchen Mengen in das erfindungsgemäße Dentalmaterial eingearbeitet wird, dass das erfindungsgemäße Dentalmaterial eine Röntgenopazität (gemäß ISO 4049-2000) bevorzugt ≥ 100 % Al und besonders bevorzugt ≥ 200 % Al aufweist.

Zur Einstellung der Viskosität des erfindungsgemäßen Dentalmaterials kann optional zusätzlich pyrogene oder nass gefällte Kieselsäure in das erfindungsgemäße Dentalmaterial eingearbeitet werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Dentalmaterial kann es sich sowohl um ein Ein-Komponenten-Material als auch um ein Mehr-Komponenten-Material handeln, wobei im letzteren Fall mindestens eine der Komponenten, bevorzugt alle Komponenten der erfindungsgemäßen Zusammensetzung entsprechen. Gegenstand der Erfindung ist somit auch ein Kit zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Dentalmaterials, das Kit kann ein oder mehrere Komponenten enthalten. Bei dem Mehrkomponentenkit oder -system erfolgt die Herstellung eines erfindungsgemäßen Dentalmaterials durch Anmischen der Komponenten im vorgegebenen Mischungsverhältnis und anschließendem Aushärten.

Zur Aushärtung des erfindungsgemäßen Dentalmaterials wird bevorzugt ein Initiator bzw. mehrere Initiatoren und optional ein Coinitiator bzw. mehrere Coinitiatoren in das erfindungsgemäße Dentalmaterial eingearbeitet. Dabei können Initiator bzw. Initiatoren und Coinitiator bzw. Coinitiatoren zusammen in einer Komponente und/oder getrennt in zwei oder mehreren Komponenten enthalten sein. Das erfindungsgemäße Dentalmaterial kann somit thermisch, chemisch, photochemisch, d. h. durch Bestrahlung mit UV- und/oder sichtbarem Licht, und/oder durch Reaktion mit der Mund- und/oder Luftfeuchte ausgehärtet werden.

Die hier verwendbaren Initiatoren können z. B. Photoinitiatoren sein. Diese sind dadurch charakterisiert, dass sie durch Absorption von Licht im Wellenlängenbereich von 300 nm bis 700 nm, bevorzugt von 350 nm bis 600 nm und besonders bevorzugt von 380 nm bis 500 nm und optional durch die zusätzliche Reaktion mit einem oder mehreren Coinitiatoren die Aushärtung des Materials bewirken können. Bevorzugt werden hier Phosphinoxide, Bezoinether, Benzilketale, Acetophenone, Benzophenone, Thioxanthone, Bisimidazole, Metallocene, Fluorone, α -Dicarbonylverbindungen, Aryldiazoniumsalze, Arylsulfoniumsalze, Aryliodoniumsalze, Ferroceniumsalze, Phenylphosphoniumsalze oder eine Mischung aus diesen Verbindungen eingesetzt.

Besonders bevorzugt werden Diphenyl-2,4,6-trimethylbenzoyl-phosphinoxid, Benzoin, Benzoinalkylether, Benzildialkylketale, α -Hydroxy-acetophenon, Dialkoxyacetophenone, α -Aminoacetophenone, i-Propylthioxanthon, Campherchinon, Phenylpropandion, 5,7-Diiodo-3-butoxy-6-fluoron, (eta-6-Cumol)(eta-5-cyclopentadienyl)eisen-hexafluorophosphat, (eta-6-Cumol)(eta-5-cyclopentadienyl)eisen-tetrafluoroborat, (eta-6-Cumol)(eta-5-cyclopentadienyl)eisen-hexafluoroantimonat, substituierte Diaryliodoniumsalze, Triarylsulfoniumsalze oder eine Mischung aus diesen Verbindungen eingesetzt.

Als Coinitiatoren für eine photochemische Aushärtung werden bevorzugt tertiäre Amine, Borate, organische Phosphite, Diaryliodoniumverbindungen, Thioxanthone, Xanthene, Fluorene, Fluorone, α -Dicarbonylverbindungen, kondensierte Polyaromaten oder eine Mischung aus diesen Verbindungen eingesetzt. Besonders bevorzugt werden N,N-Dimethyl-p-toluolidin, N,N-Dialkyl-alkyl-aniline, N,N-Dihydroxyethyl-p-toluidin, 2-Ethylhexyl-p-(dimethyl-amino)-benzoat, Butyrylcholin-triphenylbutyl-borat oder eine Mischung aus diesen Verbindungen eingesetzt.

- Als Initiatoren können auch sogenannte thermische Initiatoren eingesetzt werden, die durch die Aufnahme von thermischer Energie bei erhöhter Temperatur die Aushärtung des Materials bewirken können. Hierbei werden bevorzugt anorganische und/oder organische Peroxide, anorganische und/oder organische Hydroperoxide, α, α' -Azobis(isobutyroethylester), α, α' -Azobis(isobutyronitril), Benzpinakole oder eine Mischung aus diesen Verbindungen eingesetzt. Besonders bevorzugt werden Diacylperoxide wie z. B. Benzoylperoxid oder Lauroylperoxid, Cumolhydroperoxid, Benzpinakol, 2,2'-Dimethylbenzpinakol oder eine Mischung aus diesen Verbindungen eingesetzt.
- Für eine chemische Aushärtung bei Raumtemperatur wird i. a. ein Redoxinitiatorsystem verwendet, das aus einem bzw. mehreren Initiatoren und einem als Aktivator dienenden Coinitiator bzw. Coinitiatoren besteht. Aus Gründen der Lagerstabilität werden Initiator bzw. Initiatoren und Coinitiator bzw. Coinitiatoren in räumlich voneinander getrennten Teilen des erfindungsgemäßen Dentalmaterials eingearbeitet, d. h. es liegt ein mehrkomponentiges, bevorzugt ein zweikomponentiges Material vor. Als Initiator bzw. Initiatoren werden bevorzugt anorganische und/oder organische Peroxide, anorganische und/oder organische Hydroperoxide, Barbitursäurederivate, Malonylsulfamide, Protonensäuren, Lewis- oder Broensted-Säuren bzw. Verbindungen, die solche Säuren freisetzen, Carbeniumionen-Donatoren wie z. B. Methyltriflat oder Triethylperchlorat oder eine Mischung aus diesen Verbindungen und als Coinitiator bzw. als Coinitiatoren bevorzugt tertiäre Amine, Schwermetallverbindungen, insbesondere Verbindungen der 8. und der 9. Gruppe des Periodensystems ("Eisen- und Kupfergruppe"), Verbindungen mit ionogen gebundenen Halogenen oder Pseudohalogenen wie z. B. quartäre Ammoniumhalogenide, schwache Broenstedt-Säuren wie z. B. Alkohole und Wasser oder eine Mischung aus diesen Verbindungen eingesetzt.

In dem erfindungsgemäßen Dentalmaterial kann auch jede denkbare Kombination der oben beschriebenen Initiatoren und Coinitiatoren enthalten sein. Ein Beispiel hierfür sind sogenannte dualhärtende Dentalmaterialien, die sowohl Photo-
 5 initiatoren und optional die entsprechenden Coinitiatoren für eine photochemische Aushärtung als auch Initiatoren und entsprechende Coinitiatoren für eine chemische Aushärtung bei Raumtemperatur enthalten.

10

Das erfindungsgemäße Dentalmaterial kann zur Einstellung bestimmter Eigenschaften zusätzlich sogenannte Additive bzw. Modifikatoren enthalten. Die Allgemeinheit nicht einschränkend sind nachfolgend einige Beispiele genannt:

15 anorganische und/oder organische Farbpigmente bzw. Farbstoffe, Stabilisatoren (wie z. B. substituierte und unsubstituierte Hydroxyaromaten, Tinuvine, Terpinene, Phenothiazin, sogenannte HALS - Hindered Amine Light Stabilizers - und/oder Schwermetallfänger wie EDTA), Weichmacher (wie
 20 z. B. Polyethylenglykole, Polypropylenglykole, ungesättigte Polyester, Phthalate, Adipate, Sebacate, Phosphorsäureester, Phosphonsäureester und/oder Zitronensäureester), ione-
 25 nabgebende Substanzen, insbesondere solche die Fluoridionen freisetzen (wie z. B. Natriumfluorid, Kaliumfluorid, Yttriumfluorid, Ytterbiumfluorid und/oder quartäre Ammoniumfluoride), bakterizide oder antibiotisch wirksame Substanzen
 (wie z. B. Chlorhexidin, Pyridiniumsalze, Penicilline, Tetracycline, Chloramphenicol, antibakterielle Makrolide und/oder Polypeptid-Antibiotika) und/oder Lösungsmittel
 30 (wie z. B. Wasser, Aceton, Ethanol, i-Propanol, Butanon und/oder Essigsäureethylester).

Das erfindungsgemäße Dentalmaterial kann für die prothetische, konservierende und präventive Zahnheilkunde verwendet
 35 wenden. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien stellvertretend einige Anwendungsbeispiele genannt:
 Zahnfüllungsmaterialien, Stumpfaufbaumaterialien, Materialien für provisorische Kronen und Brücken, Zahnzemente, Ad-

häsive, Materialien für künstliche Zähne, Verblendmaterialien, Versiegelungsmaterialien und Dentallacke.

5 Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen erläutert. Zunächst werden verschiedene verwendete Mess- und Prüfverfahren erläutert, anschließend folgen die Beispiele und Vergleichsbeispiele.

I. Mess- und Prüfverfahren

10

1. Teilchengrößenbestimmung der nanoskaligen Füllstoffe

15 Die Teilchengrößenbestimmungen wurden mittels dynamischer Lichtstreuung (3D-PCS) durchgeführt. Die Methode erlaubt die Bestimmung der Gewichtsanteile von Teilchengrößen im Bereich von 1 nm bis zu einigen Mikrometern. Die obere Grenze der Methode ist dadurch gegeben, dass größere Teilchen in der Messlösung sedimentieren und somit nicht erfasst werden können.

20

Alle Proben wurden als verdünnte Dispersionen in 2-Butanon untersucht, wobei ein Feststoffanteil von etwa 0,5 Gew-% eingestellt wurde. Diese Verdünnung wurde in erster Linie gewählt, um Teilchen-Teilchen-Wechselwirkungen sicher auszuschließen.

25

2. Teilchengrößestimmung der Mikrofüllstoffe

30 Die Partikelgrößenverteilung wird mittels der Laserdiffraktometrie (Typ: Coulter LS 130) erfasst. Es wird bei diesem Verfahren der Gewichtsanteil von Partikeln, die eine bestimmte Größe haben, bestimmt. Ein Charakteristikum ist der d_{50} -Wert, der angibt, dass die Hälfte (50 %) der Gesamtmasse der Teilchen diese Größe über- bzw. unterschreiten. Die Vermessung der Teilchen erfolgt in verdünnten, zumeist wässrigen Dispersionen.

35

3. Ermittlung des Partikelzahlanteils der Aggregate der nanoskaligen Füllstoffe

Die Dispersion aus Füllstoff und organischen Bindemittel wird mittels eines Elektronenmikroskops untersucht. Bei der Auswertung werden diejenigen Teilchen ausgezählt, bei denen Primärteilchen flächig aneinander gebunden (aggregiert) sind.

4. Polymerisationsschrumpf

10

Der Polymerisationsschrumpf wurde mit der sogenannten Auftriebsmethode bestimmt. Diese Methode arbeitet nach dem Prinzip der hydrostatischen Waage auf der Grundlage des Archimedischen Prinzips: Der Auftrieb, den ein Körper erfährt, ist gleich dem Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge. Damit ist der Auftrieb gleich dem Gewichtsverlust, den er nach Eintauchen in eine Flüssigkeit erfährt.

20 In destilliertem Wasser bei 4°C ist der Auftrieb und damit der Gewichtsverlust direkt gleich dem Volumen des untersuchten Körpers.

Zur Messung des Polymerisationsschrumpfes, d. h. der Volumenabnahme, wurde in den vorliegenden Fällen die jeweils zu vermessende Probe an einem sehr dünnen Faden befestigt und fest mit der Waageschale einer elektronischen Analysewaage (Sartorius A200 S) verbunden. Es wurde das Trockengewicht m_{Luft} gemessen. Dann wurde zusätzlich ein wassergefülltes Becherglas in die Waage eingebracht, in welches die Probe vollständig eintauchte. Es wurden die Masse der Probe m_1 sowie die Wassertemperatur und damit die Dichte des Wassers ρ_1 bestimmt. Die Probe wurde anschließend mit einer Espe Elipar II Halogenlampe ausgehärtet (dreimal 40 Sekunden) und für 24 Stunden bei 23°C trocken gelagert. Die Masse der Probe m_2 (wiederum vollständig eingetaucht in Wasser) sowie

die Wassertemperatur und damit die Dichte des Wassers ρ_2 wurden bestimmt.

Der Polymerisationsschrumpf ΔV wurde nach der folgenden Formel berechnet:

5

$$\Delta V [\%] = 100 [\Delta m_1 - (\rho_1 / \rho_2) \Delta m_2] / \Delta m_1$$

In der Gleichung sind: $\Delta m_1 = m_{\text{Luft}} - m_1$ und $\Delta m_2 = m_{\text{Luft}} - m_2$

10 5. Biegefestigkeit

Mit Hilfe einer Form aus nicht rostendem Stahl wurden Probekörper mit den Abmessungen (40 ± 2) mm x $(2 \pm 0,1)$ mm x $(2 \pm 0,1)$ mm hergestellt (Aushärtung in einem Dentacolor XS-Lichtofen: 90 Sekunden je Seite). Die Probekörper wurden in destilliertem Wasser für 23 Stunden bei 40°C gelagert und dann für 1 Stunde bei 23°C gelagert. Anschließend wurde mit Hilfe einer Universaltestmaschine von Zwick (Typ Z 010 / TN2A) die Biegefestigkeit gemäß ISO 4049-2000 gemessen:

20

- konstante Vorschubgeschwindigkeit: 0,8 mm / min
- Berechnung der Biegefestigkeit (BF) nach der folgenden Formel:

25

$$BF [\text{MPa}] = (3 F l) / (2 b h^2)$$

wobei

F die maximale auf den Probekörper ausgeübte Kraft, in Newton;

l der Abstand zwischen den Auflagen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm, in Millimeter;

b die Breite des Probekörpers unmittelbar vor der Prüfung gemessen; in Millimeter;

h die Höhe des Probekörpers unmittelbar vor der Prüfung gemessen; in Millimeter; ist:

35

6. Druckfestigkeit

Mit Hilfe einer Form aus nicht rostendem Stahl wurden zylindrische Probekörper mit einer Höhe von $4 \pm 0,02$ mm und einem Durchmesser von $2 \pm 0,01$ mm hergestellt (Aushärtung mit einer Espe Elipar II Halogenlampe: 40 Sekunden je Seite). Die Probekörper wurden in destilliertem Wasser für 23 Stunden bei 40°C gelagert und dann für 1 Stunde bei 23°C gelagert. Anschließend wurde mit Hilfe einer Universaltestmaschine von Zwick (Typ Z 010 / TN2A) die Druckfestigkeit gemessen:

- konstante Vorschubgeschwindigkeit: $1,0 \text{ mm / min}$
- Berechnung der Druckfestigkeit (DF) nach der folgenden Formel:

$$DF [\text{MPa}] = F / (\pi r^2)$$

wobei F die maximale auf den Probekörper ausgeübte Kraft, in Newton;
 r der Radius des Probekörpers; in Millimeter;
 ist.

7. Diametrale Zugfestigkeit

Mit Hilfe einer Form aus nicht rostendem Stahl wurden zylindrische Probekörper mit einer Höhe von $3 \pm 0,01$ mm und einem Durchmesser von $6 \pm 0,01$ mm hergestellt (Aushärtung in einem Dentacolor XS-Lichtofen: 90 Sekunden je Seite). Die Probekörper wurden in destilliertem Wasser für 23 Stunden bei 40°C gelagert und dann für 1 Stunde bei 23°C gelagert. Anschließend wurde mit Hilfe einer Universaltestmaschine von Zwick (Typ Z 010 / TN2A) die Diametrale Zugfestigkeit gemäß ADA-Spezifikation No. 27 von 1977 gemessen:

- konstante Vorschubgeschwindigkeit: $1,0 \text{ mm / min}$
- Berechnung der Diametralen Zugfestigkeit (DZ) nach der folgenden Formel:

$$DZ [\text{MPa}] = 2 F / (\pi d h)$$

wobei F die maximale auf den Probekörper ausgeübte Kraft, in Newton;
 d der Durchmesser des Probekörpers; in
 5 Millimeter;
 h die Höhe des Probekörpers; in Millimeter; ist.

8. Barcolhärte

10

Mit Hilfe einer Form aus nicht rostendem Stahl wurden zylindrische Probekörper mit einer Höhe von $2,5 \pm 0,1$ mm und einem Durchmesser von $25 \pm 0,1$ mm hergestellt (Aushärtung in einem Dentacolor XS-Lichtofen: 180 Sekunden je Seite).

15 Anschließend wurde die Barcolhärte mit Hilfe eines Barber-Colman Impressors bestimmt. Dabei wurden jeweils mindestens 5 Werte verteilt auf dem Probekörper gemessen und der Mittelwert gebildet.

20 9. Polymerisationstiefe

Die Polymerisationstiefe wurde gemäß ISO 4049-1988 bestimmt. Dabei wurde als Prüfkörperform ein Hohlzylinder mit einer Höhe von 10 mm und einem Durchmesser von 5 mm gewählt.
 25 Die jeweilige Probe wurde für 20 Sekunden mit einer Kulzer Translux EC Halogenlampe belichtet.

10. Wasseraufnahme

30 Die Wasseraufnahme wurde gemäß ISO 4049-2000 bestimmt. Dabei wurde als Prüfkörperform ein Hohlzylinder aus Aluminium mit einer Höhe von $1,0 \pm 0,1$ mm und einem Innendurchmesser von $15 \pm 0,1$ mm gewählt. Die jeweilige Probe wurde 180 Sekunden je Seite in einem Dentacolor XS Lichtofen belichtet.

35

11. Abrasion

Die Abrasion wurde mit der 1986 von DeGee entwickelten Methode der 3-Medien-Abrasion (vgl. A.J. DeGee et al., J. Dent. Res. 65(5), 1986, S. 654-658) bestimmt.

5 Zur Herstellung der Probekörper wurde eine den Vertiefungen des Probenrades angepasste Form verwendet. Das Material wurde schichtweise (ca. 2 mm pro Schicht) in die Form eingebracht und für jeweils 40 Sekunden mit einer Espe Tri-Light Halogenlampe ausgehärtet. Unmittelbar danach wurden
10 die Proben noch für 90 Sekunden in einem Kuraray CS 110 Lichtofen nachgehärtet. Die verschiedenen Werkstoffproben wurden in zufälliger Anordnung auf das Probenrad der 3-Medien-Abrasions-Maschine aufgeklebt. Zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Rundung und Oberfläche wurde das Pro-
15 benrad im Nassschleifverfahren (1000 Grid) plangeschliffen. Die Lagerung erfolgte unmittelbar nach der Herstellung für mindestens zwei Wochen bei 37°C in destilliertem Wasser.

Alle Materialien wurden vier mal 50.000 Zyklen in der 3-Medien-Abrasions-Maschine entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise belastet (Krämer 1997). Die profilometrische Vermessung der Abrasionskörper erfolgte mittels eines computer-gesteuerten Perthometers C5D (Fa. Perthen, Göttingen). Die somit erhaltenen 3-D-Daten wurden dann mit Hilfe
25 der Bildverarbeitungsoberfläche XPERT für Windows ausgewertet. Dazu wurde der Abrasionsbereich genau definiert und aus dem abradierten Volumen der mittlere Höhenverlust unterhalb der eingezeichneten Ebene ausgegeben.

30

II. Beispiele und Vergleichsbeispiele

Ohne Einschränkung der Allgemeinheit wird die Erfindung
35 nachfolgend anhand von mehreren Beispielen näher erläutert.

Nanofüllstoff A:

Zunächst wurden 150 g Aerosil OX 50 (Degussa AG) in ein Reaktorgefäß gegeben und unter Vakuum und Rühren wurden 220 g Dichlormethan in das Reaktorgefäß eingesaugt. Danach wurde eine Lösung von 7,6 g 3-Methacryloxypropyltrimethoxysilan (ABCR GmbH & Co. KG), 3,3 g destilliertes Wasser und 12 mg Methacrylsäure in 580 g Dichlormethan ebenfalls in das Gefäß eingesaugt. Nach Beendigung dieses Vorgangs wurde das Lösungsmittelgemisch unter Vakuum abdestilliert und man erhielt ein weißes Pulver.

10

Nanofüllstoff B:

150 g Aerosil 200 (Degussa AG) wurden in einen 2L-Zweihauskolben eingewogen und mit ca. 1000 g 2-Butanon versetzt. Die zunächst breiige Masse wurde solange mit einem KPG-Rührer gerührt, bis sich eine homogene flüssige Suspension bildete. Dann wurden 95,55 g 3-Methacryloxypropyltrimethoxysilan mit einem Tropftrichter zugetropft. Die dünnflüssige Suspension wurde insgesamt 48 Stunden gerührt. Anschließend wurde das 2-Butanon langsam an einem Rotationsverdampfer abgezogen. Nach dem Entfernen des Lösungsmittels blieb ein weißes, lockeres, grobteiliges poröses Pulver zurück, das leicht zerfiel.

20

Harz A:

25 In 649,7 g einer 1:1-Mischung aus Bisphenol-A-diglycidylmethacrylat und Triethylenglykol-dimethacrylat wurden 1,97 g Campherchinon, 3,21 g 2-Ethylhexyl-4-(dimethylamino)-benzoat und 65,8 mg 2,6-Bis-tert.-butyl-4-methyl-phenol gelöst.

30

Volumenschrumpf nach 24 h: 10,7 %

Nanogefülltes Harz B-1 (Vorstufe von Referenzbeispiel 2-1):

35 In 100 g des Harzes A wurden innerhalb von 2 Stunden mit Hilfe eines Dispermaten insgesamt 96,7 g des Nanofüllstoffs A portionsweise eingearbeitet. Auf diese Weise erhielt man ein leicht opakes, mittelviskoses, gefülltes Harz mit einem Füllgrad von 49,2 % an nanoskaligem Siliziumdioxid. Mit

Hilfe der dynamischen Lichtstreuung sollte vom nanogefüllten Harz B-1 die Korngrößen-verteilung gemessen werden. Dabei trat jedoch das Problem auf, dass in dem Harz sehr große Aggregate und/oder Agglomerate vorlagen (mit einer mittleren Korngröße $d_{50} > 1\mu\text{m}$), die vor bzw. während der Messung separierten und so nicht mitvermessen werden konnten. Daher ist in Abbildung 1 die Korngrößenverteilung nur der Teilchen vom nanogefüllten Harz B-1 abgebildet, die noch vermessen werden konnten.

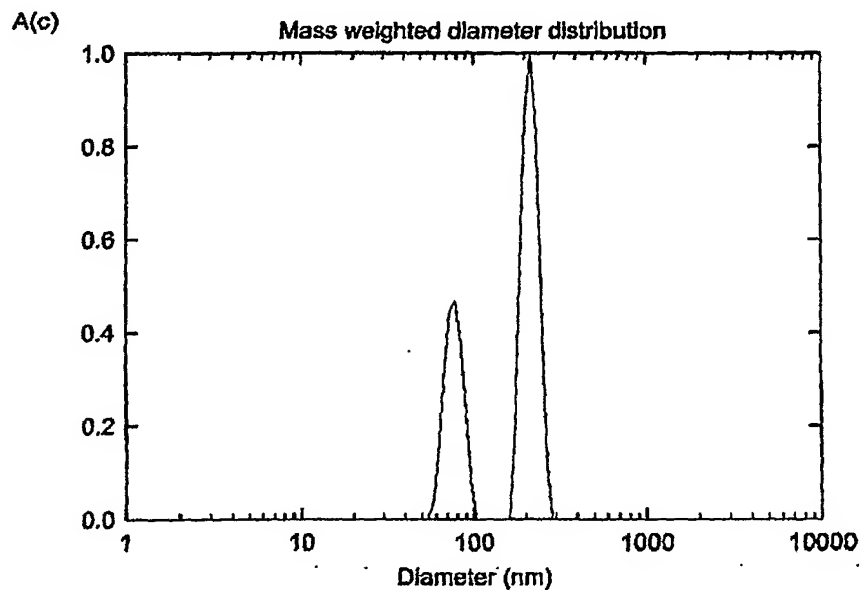
10

Transparenz: 56,2 %

Volumenschumpf nach 24h: 5,2 %

15

Abbildung 1: Korngrößenverteilung der nicht separierten Teilchen vom nanogefüllten Harz B-1 (dynamische Lichtstreuung)



20

Peak 1:

Mittelwert = 75,8 nm; Breite = 12,5 %; Amplitude = 34,5 %

Peak 2:

Mittelwert = 212,7 nm; Breite = 11,1 %; Amplitude = 65,5 %

25

- Unter Berücksichtigung des relativ hohen Anteils an nicht messbaren aggregierten und/oder agglomerierten Teilchen mit einer Korngröße $d > 1 \mu\text{m}$ lässt sich aus der obigen Abbildung folgern, dass nur ein sehr geringer Anteil der Teilchen des nanogefüllten Harzes
- 5 B-1 eine Korngröße $d < 100 \text{ nm}$ aufweist.

Nanogefülltes Harz B-2 (Vorstufe von Referenzbeispiel 2-2):

- In 100 g des Harzes A wurden innerhalb einer Stunde mit
- 10 Hilfe eines Labormischers insgesamt 96,7 g des Nanofüllstoffs A portionsweise eingearbeitet. Auf diese Weise erhielt man ein leicht opakes, mittelviskoses, gefülltes Harz mit einem Füllgrad von 49,2 % an nanoskaligem Siliziumdioxid.
- 15 Bei diesem Harz konnte die Korngrößenverteilung mit Hilfe der dynamischen Lichtstreuung nicht gemessen werden, da mindestens 80 % des Füllstoffs so stark aggregiert und/oder agglomeriert war, dass die entsprechenden Teilchen so groß waren, dass sie separierten und somit nicht vermessen werden konnten.
- 20

Transparenz: 56,4 %

Volumenschrumpf nach 24h: 5,3 %

- 25 Nanogefülltes Harz C (Vorstufe von Erfindungsbeispielen):
- In 250 g einer 1:1-Mischung aus Bisphenol-A-diglycidylmethacrylat und Triethylenglykoldimethacrylat wurden etwa 50 g des Nanofüllstoffs B gegeben und mit Hilfe eines Dispermaten in 90 Minuten bei 1200 U/min eingearbeitet.
- 30 Dann wurden weitere 40 g des Nanofüllstoffs B hinzugegeben, und die Mischung 1 Stunde bei 1000 U/min und anschließend über Nacht bei 500 U/min dispergiert. Es wurden insgesamt 225 g des Nanofüllstoffs in Portionen von 30 - 40 g eindispergiert. Anschließend wurden 0,16 Gew.-%
- 35 Campherchinon, 0,26 Gew.-% 2-Ethylhexyl-4-(dimethylamino)-benzoat und 0,005 Gew.-% 2,6-Bis-tert.-butyl-4-methylphenol in diesem homogenen Gemisch gelöst. Auf diese Weise wurde ein sehr transparentes, mittelviskoses, gefülltes

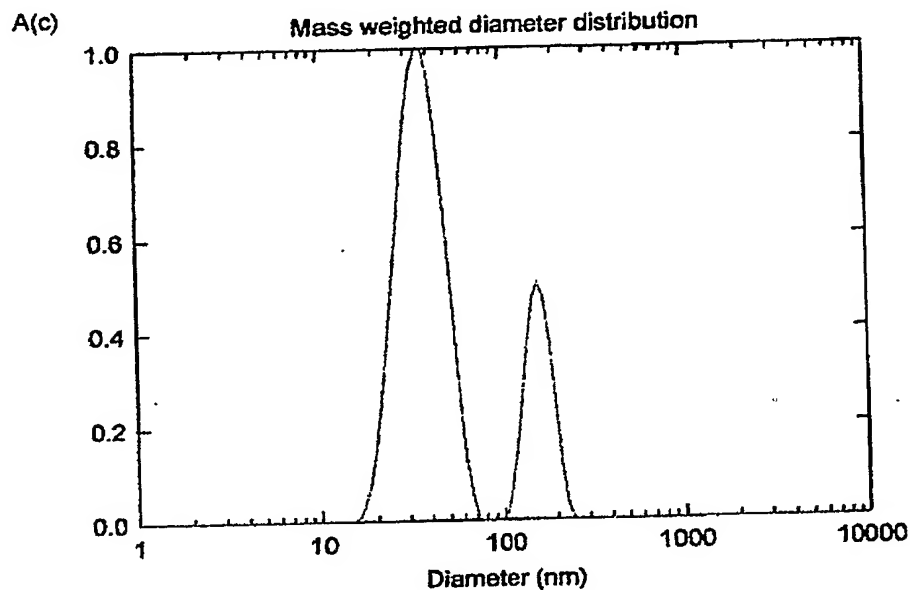
Harz mit einem Füllgrad von 47,2 % an nanoskaligem Siliziumdioxid erhalten.

Im Gegensatz zu den nanogefüllten Harzen B-1 und B-2 trat bei diesem Harz keine Separation auf, so dass in diesem Fall die Korngrößenverteilung aller Teilchen mittels dynamischer Lichtstreuung bestimmt werden konnte (s. Abbildung 2).

Transparenz: 94,5 %

10 Volumenschrumpfung nach 24h: 7,3 %

Abbildung 2: Korngrößenverteilung vom nanogefüllten Harz C (dynamische Lichtstreuung)



15

Peak 1:

Mittelwert = 35,2 nm ; Breite = 31,9 %; Amplitude = 77,2 %

Peak 2:

20 Mittelwert = 159,1 nm ; Breite = 17,5 %; Amplitude = 22,8 %

Die obige Abbildung belegt eindeutig, dass mehr als 50 % der Teilchen des nanogefüllten Harzes C eine Korngröße $d < 100$ nm aufweisen.

25

In den folgenden Beispielen 1 - 4 werden Hybrid-Composite vorgestellt, die nach dem Stand der Technik (Referenzbeispiele) bzw. gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurden. Anzumerken ist, dass alle 5 Pasten sensorisch auf die selbe Konsistenz eingestellt wurden.

Beispiel 1 (Referenz):

In 34,1 g des Harzes A wurden 6,0 g Aerosil R 974 (Degussa AG) und 130,7 g silanisiertes Barium-Silikatglas mit einer mittleren Korngröße von 1,0 μm eingearbeitet. Anschließend wurde für ca. 60 Minuten bei ca. 200 mbar entgast. Auf diese Weise wurde eine feste, modellierbare, lichthärtende Paste erhalten.

Zusammensetzung: s. Tabelle 1
Eigenschaften: s. Tabelle 2

Beispiel 2-1 (Referenz):

In 50,0 g des nanogefüllten Harzes B-1 wurden zunächst 70,6 g silanisiertes Barium-Silikatglas mit einer mittleren Korngröße von 1,0 μm eingearbeitet. Die entstandene Paste war jedoch so fest und bröselig, dass noch mit 10,0 g des Harzes A verdünnt wurde. Anschließend wurde für ca. 60 Minuten bei ca. 200 mbar entgast. Auf diese Weise wurde eine feste, modellierbare, lichthärtende Paste erhalten.

Zusammensetzung: s. Tabelle 1
Eigenschaften: s. Tabelle 2

Beispiel 2-2 (Referenz):

In 50,0 g des nanogefüllten Harzes B-2 wurden zunächst 60,8 g silanisiertes Barium-Silikatglas mit einer mittleren Korngröße von 1,0 μm eingearbeitet. Die entstandene Paste war jedoch etwas zu fest und wurde daher noch mit 1,0 g des Harzes A verdünnt. Anschließend wurde für ca. 60 Minuten bei ca. 200 mbar entgast. Auf diese Weise wurde eine feste, modellierbare, lichthärtende Paste erhalten.

Zusammensetzung: s. Tabelle 1

Eigenschaften: s. Tabelle 2

Beispiel 3 (Erfindung):

- 5 In 50,1 g des nanogefüllten Harzes C wurden 105,5 g silaniertes Barium-Silikatglas mit einer mittleren Korngröße von 1,0 µm eingearbeitet. Anschließend wurde für ca. 60 Minuten bei ca. 300 mbar entgast. Auf diese Weise wurde eine feste, modellierbare, lichthärtende Paste erhalten.

10

Zusammensetzung: s. Tabelle 1

Eigenschaften: s. Tabelle 2

Beispiel 4 (Erfindung):

- 15 In 54,1 g des gefüllten Harzes C wurden 6,0 g Aerosil R 974 (Degussa AG) und 95,6 g silanisiertes Barium-Silikatglas mit einer mittleren Korngröße von 1,0 µm eingearbeitet. Anschließend wurde für ca. 60 Minuten bei ca. 200 mbar entgast. Auf diese Weise wurde eine feste, modellierbare, lichthärtende Paste erhalten.
- 20

Zusammensetzung: s. Tabelle 1

Eigenschaften: s. Tabelle 2

- 25 Tabelle 1: Prozentuale Zusammensetzung der Hybrid-Composite (Bsp. 1 - 4)

	Bsp. 1 (Referenz)	Bsp. 2-1 (Referenz)	Bsp. 2-2 (Referenz)	Bsp. 3 (Erfindung)	Bsp. 4 (Erfindung)
Harz A	20,0 %	7,65 %	0,9 %	—	—
Nanogefülltes Harz B-1	—	38,3 %	—	—	—
Nanogefülltes Harz B-2	—	—	44,7 %	—	—

Nanogefülltes Harz C	—	—	—	32,2 %	34,7 %
Aerosil R 974	3,5 %	—	—	—	3,9 %
Barium-Silikatglas ($d_{50} = 1,0\mu\text{m}$)	76,5 %	54,05 %	54,4 %	67,8 %	61,4 %

	Bsp. 1 (Referenz)	Bsp. 2-1 (Referenz)	Bsp. 2-2 (Referenz)	Bsp. 3 (Erfindung)	Bsp. 4 (Erfindung)
Harz A	20,0 %	27,1 %	23,6 %	17,0 %	18,3 %
Nanofüllstoff A	—	18,8 %	22,0 %	—	—
Nanofüllstoff B	—	—	—	15,2 %	16,4 %
Aerosil R 974	3,5 %	—	—	—	3,9 %
Barium-Silikatglas ($d_{50} = 1,0\mu\text{m}$)	76,5 %	54,1 %	54,4 %	67,8 %	61,4 %

Tabelle 2: Physikalische und Mechanische Eigenschaften der Hybrid-Composite (Bsp. 1 - 4)

5

	Bsp. 1 (Referenz)	Bsp. 2-1 (Referenz)	Bsp. 2-2 (Referenz)	Bsp. 3 (Erfindung)	Bsp. 4 (Erfindung)
Druckfestigkeit [MPa]	409	431	459	513	493
Volumen-	3,8	4,0	4,4	3,3	3,4

schrumpf nach 24h [%]					
Abrasion [µm]	41	n.b.	n.b.	n.b.	20
Biege- festig-keit [MPa]	126	131	121	129	125
Diametrale Zugfestig- keit [MPa]	53	59	58	57	57
Barcolhärte	82	82	80	85	79
Polymerisa- tionstiefe [mm]	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10
Wasserauf- nahme [µg/mm ³]	29	22	22	20	22

In den folgenden Beispielen 5 und 6 werden Mikrofüller-Composite vorgestellt, die nach dem Stand der Technik (Referenzbeispiel) bzw. gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurden. Anzumerken ist, dass die beiden Pasten sensorisch auf die selbe Konsistenz eingestellt wurden.

Beispiel 5 (Referenz):

In 40,0 g des Harzes A wurden 14,0 g Aerosil R 974 (Degussa AG) und 86,1 g eines gemahlenden Splitterpolymerisats, das Dodekandioldimethacrylat, Trimethylolpropantrimethacrylat und silanisiertes Aerosil OX 50 enthielt, eingearbeitet. Anschließend wurde für ca. 45 Minuten bei ca. 300 mbar entgast. Auf diese Weise wurde eine feste, modellierbare, lichthärtende Paste erhalten.

Zusammensetzung: s. Tabelle 3

Eigenschaften: s. Tabelle 4

Beispiel 6 (Erfindung):

In 54,0 g des nanogefüllten Harzes C wurden 100,7 g des in Bsp. 5 beschriebenen, gemahlenen Splitterpolymerisats eingearbeitet. Da die entstandene Peste zu fest war, wurde mit 12,4 g des nanogefüllten Harzes C verdünnt. Anschließend wurde für ca. 60 Minuten bei ca. 200 mbar entgast. Auf diese Weise wurde eine feste, modellierbare, lichthärtende Paste erhalten.

- 10 Zusammensetzung: s. Tabelle 3
Eigenschaften: s. Tabelle 4

Tabelle 3: Prozentuale Zusammensetzung der Mikrofüller-Composite (Bsp. 5 - 6)

15

	Bsp. 5 (Referenz)	Bsp. 6 (Erfindung)
Harz A	28,6 %	—
Nanogefülltes Harz C	—	39,7 %
Aerosil R 974	10,0 %	—
Org. Füllstoff (gemahlenes Präpolymerisat)	61,4 %	60,3 %

	Bsp. 5 (Referenz)	Bsp. 6 (Erfindung)
Harz A	28,6 %	21,0 %
Nanofüllstoff B	—	18,7 %
Aerosil R 974	10,0 %	—
Org. Füllstoff (gemahlenes Präpolymerisat)	61,4 %	60,3 %

- 20 Tabelle 4: Physikalische und Mechanische Eigenschaften der Mikrofüller-Composite (Bsp. 5 - 6)

	Bsp. 5 (Referenz)	Bsp. 6 (Erfindung)
Druckfestigkeit [MPa]	249	345
Volumenschrumpf nach 24h [%]	3,6	3,0
Abrasion [μm]	64	42
Diametrale Zugfestigkeit [MPa]	36	36
Barcolhärte	59	62
Polymerisationstiefe [mm]	≥ 10	≥ 10
Wasseraufnahme [$\mu\text{g}/\text{mm}^3$]	23	20

5 Diese Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung der erfindungsgemäß eingesetzten Zusammensetzung in Dentalmaterialien zu einer Erhöhung der Druckfestigkeit, zu einer Verringerung des Polymerisationsschrumpfes und zu einer Verbesserung der Abriebfestigkeit führt.

Patentansprüche

- 5 1. Gefülltes und polymerisierbares Dentalmaterial, dadurch gekennzeichnet, dass es enthält:
- 10 a) ein organisches Bindemittel,
- 15 b) einen nanoskaligen Füllstoff, der folgende Merkmale aufweist:
- mindestens 50 Gew.-%, bevorzugt mindestens 60 Gew.-% und besonders bevorzugt mindestens 80 Gew.-% der Nanopartikel weisen einen Teilchendurchmesser von kleiner 100 nm auf,
 - mindestens 20 Partikelzahl-%, bevorzugt mindestens 30 Partikelzahl-%, bevorzugt mindestens 40 Partikelzahl-% und besonders bevorzugt mindestens 50 Partikelzahl-% der Nanopartikel sind aggregierte Teilchen,
- 20
- 25 c) wenigstens einen anorganischen und/oder organischen Füllstoff ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus einem gemahlten Füllstoff mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,2 µm und 50 µm und einem sphärischen Füllstoff mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,1 µm und 50 µm.
- 30 2. Dentalmaterial nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es 1 bis 99 Gew.-%, bevorzugt 5 bis 90 Gew.-% und besonders bevorzugt 10 bis 80 Gew.-% des organischen Bindemittels a) enthält.
- 35 3. Dentalmaterial nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass es 0,1 bis 90 Gew.-%, bevorzugt 1 bis 80 Gew.-% und besonders bevorzugt 10 bis 60 Gew.-% des

nanoskaligen Füllstoffs b) enthält.

4. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass es 0,1 bis 95 Gew.-%, bevorzugt 1 bis 90 Gew.-% und besonders bevorzugt 10 bis 80 Gew.-% des anorganischen und/oder organischen Füllstoffs c) enthält.
5. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der nanoskalige Füllstoff organisch oberflächenodifiziert ist.
6. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass es zusätzlich pyrogene und/oder nassgefällte Kieselsäuren zur Einstellung der Viskosität enthält.
7. Dentalmaterial gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass es 0 bis 30 Gew.-%, bevorzugt 0 bis 20 Gew.-% und besonders bevorzugt 0 bis 10 Gew.-% der pyrogene und/oder nassgefällte Kieselsäuren zur Einstellung der Viskosität enthält.
8. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das organische Bindemittel a) eine Verbindung oder eine Mischung mehrerer Verbindungen ist, die radikalisch und/oder kationisch und/oder anionisch polymerisierbare Gruppen und/oder Gruppen, die eine Aushärtung über eine Kondensations-, Additions- und/oder Säure-Base-Reaktion erlauben, enthält.
9. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der nanoskalige Füllstoff b) ein Metall-, Halbmetall- oder Mischmetalloxid, -Silikat, -Nitrid, -Sulfat, -Titanat, -Zirkonat, -Stannat, -Wolframat oder eine Mischung aus diesen

Verbindungen ist.

10. Dentalmaterial gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der nanoskalige Füllstoff b) Siliziumdioxid ist.

5
11. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Füllstoff c) ein sphärischer Füllstoff, Quarzpulver, Glaspulver, Glaskeramikpulver oder eine Mischung aus diesen Pulvern ist.

10
12. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der anorganische und/oder organische Füllstoff c) ein gefülltes oder ungefülltes Splitterpolymerisat und/oder Perlpolymerisat ist.

15
13. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der anorganische und/oder organische Füllstoff c) oberflächenmodifiziert ist und funktionelle Gruppen auf seiner Oberfläche besitzt, die mit dem organischen Bindemittel a) chemisch reagieren können oder eine hohe Affinität zu dem organischen Bindemittel a) haben.

20
14. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass es zusätzlich einen Initiator bzw. mehrere Initiatoren und optional einen Coinitiator bzw. mehrere Coinitiatoren enthält.

25
15. Dentalmaterial gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass es röntgenopak ist.

30
16. Verwendung des Dentalmaterials nach einem der Ansprüche 1 bis 15 als Material für die prothetische, konservierende und präventive Zahnheilkunde wie z. B. als Zahnfüllungsmaterial, Stumpfaufbaumaterial, Material für provisorische Kronen und Brücken, Zahnzement, Ad-

35

häsiv, Material für künstliche Zähne, Verblendmaterial, Versiegelungsmaterial und Dentallack.

- 5 17. Verfahren zur Herstellung von Dentalmaterialien, mit den Schritten:

a) zur Verfügung stellen von:

- 10 a1) einem organischem Bindemittel,
- a2) einem wenigstens teilweise agglomerierten und/oder aggregierten nanoskaligen Füllstoff,
- 15 a3) einem Mittel zur organischen Oberflächenmodifikation des Füllstoffs a2),
- 20 a4) wenigstens einem anorganischen und/oder organischen Füllstoff ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus einem gemahlenden Füllstoff mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,2 μm und 50 μm und einem sphärischen Füllstoff mit einer mittleren Korngröße zwischen 0,1 μm und 50 μm ;
- 25 b) Durchführung einer organischen Oberflächenmodifikation des Füllstoffs a2) mit dem Mittel a3);
- 30 c) Einarbeiten des oberflächenmodifizierten nanoskaligen Füllstoffs in das organische Bindemittel bis wenigstens 50 Gew.-%, vorzugsweise wenigstens 60 Gew.-%, weiter vorzugsweise wenigstens 80 Gew.-% des nanoskaligen Füllstoffs einen Teilchendurchmesser von weniger als 100 nm aufweisen;
- 35 d) Einarbeiten des Füllstoffs a4) in das organische Bindemittel;

wobei die Schritte c) und d) in beliebiger Reihenfolge oder gleichzeitig durchgeführt werden können und wobei Schritt b) vor oder gleichzeitig mit den Schritten c) und/oder d) durchgeführt wird.

5

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die organische Oberflächenmodifizierung der nanoskaligen Füllstoffe a2) direkt im organischen Bindemittel durchgeführt wird.

10

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) zusätzliche mechanische Energie eingebracht wird, bevorzugt durch einen Hochgeschwindigkeitsrührer, einen Dissolver, eine Perlmühle oder einen Mischer.

15

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das organische Bindemittel a1) eine Verbindung oder eine Mischung mehrerer Verbindungen ist, die radikalisch und/oder kationisch und/oder anionisch polymerisierbare Gruppen und/oder Gruppen, die eine Aushärtung über eine Kondensations-, Additions und/oder Säure-Base-Reaktion erlauben, enthält.

20

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass der nanoskalige Füllstoff a2) ein Metall-, Halbmetall- oder Mischmetalloxid, -Silikat, -Nitrid, -Sulfat, -Titanat, -Zirkonat, -Stannat, -Wolframat oder eine Mischung aus diesen Verbindungen ist.

25

30

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass der nanoskalige Füllstoff a2) Siliziumdioxid ist.

35

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass bei der organischen Oberflächenmodifizierung Gruppen auf die Oberfläche der nanoskaligen Füllstoffe a2) eingeführt werden, die mit dem

organischen Bindemittel a1) chemisch reagieren können oder eine hohe Affinität zu dem organischen Bindemittel haben.

- 5 24. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass das zur organischen Oberflächenmodifizierung eingesetzte Mittel ein Silan, Chlorsilan, Silazan, Titanat, Zirkonat und/oder Wolframat ist.
- 10 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der anorganische und/oder organische Füllstoff a4) ein sphärischer Füllstoff, Quarzpulver, Glaspulver, Glaskeramikpulver oder eine Mischung aus diesen Pulvern ist.
- 15 26. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass der anorganische und/oder organische Füllstoff a4) ein gefülltes oder ungefülltes Splitterpolymerisat und/oder Perlpolymerisat ist.
- 20 27. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass der anorganische und/oder organische Füllstoff a4) organisch oberflächenmodifiziert ist und damit funktionelle Gruppen auf seiner Oberfläche besitzt, die mit dem organischen Bindemittel a1) chemisch reagieren können oder eine hohe Affinität zu dem organischen Bindemittel haben.

Zusammenfassung

5 Gegenstand der Erfindung ist ein gefülltes und polymeri-
sierbares Dentalmaterial, das in einem organischen Binde-
mittel einen teilaggregierten nanoskaligen Füllstoff sowie
einen weiteren anorganischen und/oder organischen Füllstoff
aufweist. Die Erfindung erreicht die Vorteile nanoskaliger
10 Füllstoffe in Dentalmaterialien ausgehend von kostengünsti-
gen aggregierten/agglomerierten Füllstoffen wie beispiels-
weise flammpyrolytisch gewonnenem Siliziumdioxid.

